

红花籽油营养成分和功效研究进展

王 曦^{1,2}, 尚嘉毅^{1,3}, 惠 菊^{1,3}, 赵瑾凯^{1,2}, 王翔宇^{1,3}, 王黎明^{1,2}, 初柏君^{1,3}, 安 泰^{1,2}

(1. 中粮营养健康研究院有限公司, 北京 102209; 2. 营养健康与食品安全北京市重点实验室, 北京 102209; 3. 老年营养食品研究北京市工程实验室, 北京 102209)

摘要: 为了对红花籽油产品开发提供参考, 通过对相关既往研究的归纳总结, 综述了红花籽油的主要营养成分、健康功效研究情况, 介绍了红花籽油在其他领域的应用, 并对未来的研究方向进行展望。红花籽油的营养功效成分主要有亚油酸、维生素 E、植物甾醇、黄酮类化合物(主要为金合欢素)。红花籽油具有抗氧化、改善心脑血管健康、保护神经系统、改善肥胖等多种健康功效。红花籽油除食用外, 在畜牧业中也具有一定的应用前景。今后应加大对红花籽油健康功效和作用机制的研究, 创新红花籽油加工工艺, 提高功效成分的保留率, 促进红花籽油在多领域的应用。

关键词: 红花籽油; 营养成分; 健康功效

中图分类号: TS225.1; TS201.4 文献标识码: A 文章编号: 1003-7969(2024)10-0066-06

Research progress on nutrients and efficacy of safflower seed oil

WANG Xi^{1,2}, SHANG Jiayi^{1,3}, HUI Ju^{1,3}, ZHAO Jinkai^{1,2},
WANG Xiangyu^{1,3}, WANG Liming^{1,2}, CHU Baijun^{1,3}, AN Tai^{1,2}

(1. COFCO Nutrition and Health Research Institute, Beijing 102209, China; 2. Beijing Key Laboratory of Nutrition & Health and Food Safety, Beijing 102209, China; 3. Beijing Engineering Laboratory of Geriatric Nutrition Food Research, Beijing 102209, China)

Abstract: In order to provide reference for the development of safflower seed oil products, through the summary of relevant previous research, the main nutrients and health effects of safflower seed oil were reviewed, the application of safflower seed oil in other fields was introduced, and the future research direction was prospected. The main nutritional components of safflower seed oil are linoleic acid, vitamin E, phytosterols, and flavonoids (acacetin). Safflower seed oil has many health effects such as anti-oxidation, improving cardiovascular and cerebrovascular health, protecting the nervous system, and improving obesity. Safflower seed oil also has a certain application prospect in animal husbandry. In the future, the research on the health effect and mechanism of action of safflower seed oil should be increased, the processing process of safflower seed oil could be innovated, and the retention rate of effective ingredients should be improved so as to promote the application of safflower seed oil in many fields.

Key words: safflower seed oil; nutrient; health effect

红花(*Carthamus tinctorius* L.)是菊科红花属植物,原产于埃及,后传至中国^[1]。中国是世界红花

主要产区之一,且主要集中在新疆、河南、四川及云南等地。新疆是我国红花的主产区之一,其已形成三大主产区,即塔城、伊犁河谷和昌吉,新疆红花种植面积大,常年保持4.00万~5.33万hm²,且品种资源丰富,中国作物种质信息网收录的新疆红花品种有300多种^[2]。红花的花冠为传统中药材,籽为重要的油料。以红花籽为原料制取的红花籽油亚油酸含量高达80%左右,是亚油酸含量最高的植物油

收稿日期:2023-04-29;修回日期:2024-06-24

作者简介:王 曦(1992),女,工程师,研究方向为粮油食品以及地方特色农产品的评价与研究(E-mail) wangxi@cofco.com。

通信作者:尚嘉毅,工程师(E-mail) shangjiayi@cofco.com。

之一,红花籽油还含有维生素 E、植物甾醇和黄酮等多种活性物质,是小品种油市场中深受消费者喜爱的油种之一。红花籽油的制备工艺主要为压榨法和溶剂浸提法,此外还有水酶法和超临界萃取法^[3]。我国红花籽进口量从 2020 年的 3.65 万 t 上升至 2023 年的 11.11 万 t(数据来源于国家粮油信息网和中粮集团),说明红花籽油的市场在逐年扩大,需求量也在逐步增加。近年来相关标准的发布,如 T/XJLSXH 1107—2022《新疆好粮油 红花籽油》,推动了红花籽油的品质提升和规范化发展。随着研究的深入,红花籽油的健康功效逐渐被发现和挖掘,因其极高的亚油酸含量和广泛的应用前景越来越受到人们的关注,但目前尚缺乏对其成分、功效及应用的科学的全面总结。本文旨在通过对国内外前期研究进行系统综述,全面梳理红花籽油营养成分和健康功效研究进展,以期对红花籽油后续加工工艺和营养功效研究、食用油产品开发提供参考。

1 红花籽油的营养成分

1.1 主要营养素

1.1.1 亚油酸

亚油酸是 $n-6$ 多不饱和脂肪酸的一种,也是人体必需脂肪酸,膳食来源主要为植物油,如红花籽油、葵花籽油等。红花籽油被称为“亚油酸之王”,综合既往实验研究发现其亚油酸含量介于 76.00%~82.45%。不同产地红花籽油的亚油酸含量有差异,其中新疆红花籽油亚油酸含量最高可达 81%~82%^[4-5]。

1.1.2 维生素 E

维生素 E 是一种脂溶性维生素,包括生育酚(TE)和生育三烯酚,共 8 种化合物。其中 α -生育酚在自然界分布最广泛,活性也最高, β -生育酚、 γ -生育酚和 δ -生育酚的活性分别为 α -生育酚的 50%、10% 和 2%^[6]。 α -生育酚的天然存在形式是 RRR - α -生育酚,又称 d - α -生育酚,合成的 α -生育酚为 dl - α -生育酚,其活性仅为天然 α -生育酚的 74%^[6]。Matthaus 等^[7]的研究显示,红花籽油中维生素 E 的含量为 47.29~73.09 mg/100 g(以 α -TE 当量计),而本实验室测定数据显示红花籽油中维生素 E 的含量为 53~63 mg/100 g(以 α -TE 当量计),含量差异可能与红花的品种和生长条件不同有关。研究显示,人体对维生素 E 的需求量与不饱和脂肪酸的摄入量之间存在一定关联,在不额外摄入多不饱和脂肪酸的状态下(基础状态下), α -生育酚的最低摄入量为 4~5 mg/d,而在含有多不饱和脂肪酸(主要是亚油酸)的饮食中,为了维持多不饱和脂肪酸在体内的稳定性, α -生育酚的额外需求量为

0.4~0.6 mg/g(以亚油酸质量计)^[8-10]。

1.2 其他微量营养素

1.2.1 黄酮类物质

研究显示,红花籽油中总黄酮含量为 98.82 mg/100 g^[11],显著高于大豆油(1.31 mg/100 mL)^[12]。金合欢素是红花籽油中主要的黄酮类物质之一,可以防止因紫外线 B(UVB)诱导的基质金属蛋白酶-1(MMP-1)表达而导致的皮肤光老化,具有作为抗皱剂改善皮肤健康的潜力^[13],同时也具有降低氧化应激、减缓糖尿病发展进程、调节血脂代谢等积极作用^[14-17],是一种很有开发潜力的物质,其功效及作用机制还需要更深入的研究。

1.2.2 植物甾醇

植物甾醇是一大类化学物质的总称,包括 β -谷甾醇、菜油甾醇、豆甾醇等。我国居民膳食中植物甾醇的主要来源是谷类和植物油,分别占总摄入量的 39% 和 40%^[6]。红花籽油中植物甾醇的含量为 430.06 mg/100 g^[6]。红花籽油中植物甾醇含量与其加工工艺和贮藏时间有关,超声波辅助乙醇萃取脱酸相较于碱炼脱酸能有效保留红花籽油的植物甾醇^[18]。植物甾醇与胆固醇结构相似,能够竞争性抑制肠道对胆固醇吸收,降低体内胆固醇水平。研究表明,3 g/d 是植物甾醇在人体安全和有效降低胆固醇的剂量^[19-20]。

2 红花籽油的健康功效

2.1 抗氧化作用

吕培霖等^[21]研究表明,红花籽油有较强的体外抗氧化活性,其二甲亚砷溶液具有很强的 DPPH 自由基、ABTS 自由基清除能力及 Fe^{3+} 还原能力,总抗氧化能力超过丁基羟基甲苯(BHT),并认为红花籽油具有作为保健食品或临床用药进一步开发和推广的价值。

2.2 改善心脑血管健康

近年来,心脑血管疾病(CVD)已成为人类健康的主要威胁,由总胆固醇(TC)和低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)水平升高引起的脂质代谢紊乱是导致 CVD 和动脉粥样硬化(AS)的重要因素。红花籽油中亚油酸含量非常丰富,动物实验表明,红花籽油对心血管健康有积极作用。如:Halminski 等^[22]将 45 只大鼠随机分为 3 组,分别饲喂含 10% 鱼油、红花籽油或棕榈油的饲料,结果发现,与饲喂棕榈油饲料相比,饲喂鱼油和红花籽油饲料的大鼠磷酸酯水解量分别显著降低了 37% 和 22%,这种变化直接与血脂水平有关,侧面说明了鱼油和红花籽油对心血管

健康的积极作用。Sato 等^[23]对雌雄载脂蛋白 e 缺失小鼠饲喂含等量饱和脂肪(等质量比的棕榈油和猪油)或红花籽油的饲料,为期 9 周,结果显示,红花籽油饲料降低了 AS 水平、TC 水平、肝脏酯化胆固醇水平,提高了高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)水平。Li 等^[24]将 75 只小鼠随机分为 5 组,即基础饮食组(BC 组)、胆固醇饮食组(胆固醇含量为 1 g/100 g 的饮食)、胆固醇饮食 + 14% 红花籽油组、胆固醇饮食 + 14% 橄榄油组、胆固醇饮食 + 14% 肉豆蔻酸组,为期 6 周,结果表明,在胆固醇饮食中添加红花籽油或橄榄油,增加了胆汁酸池的产生量或胆汁酸的排泄,减少了肝脏胆固醇的积累。人群实验研究也证实了红花籽油对血脂的改善作用。Cox 等^[25]选取 41 名生活在新西兰的健康人群,连续 6 周食用富含黄油、椰子油或红花籽油的饮食,结果发现,红花籽油和椰子油组人群的 LDL-C 和载脂蛋白 B(ApoB)水平显著低于黄油组。Morgan 等^[26]研究了在原有低脂饮食中额外添加红花籽油或橄榄油对血脂水平的影响,结果显示,经过 2 周低脂饮食的受试者,其 LDL-C 浓度降低了 13%~14%,HDL-C 浓度降低了 20%~25%,在原有饮食中加入红花籽油或橄榄油后,LDL-C 浓度仍可维持较低水平,并得出了降低血清 TC 和 LDL-C 水平需要减少饱和脂肪,而不是总脂肪的结论,提示在日常饮食中可以使用红花籽油等不饱和脂肪含量较高的植物油代替部分饱和脂肪含量较高的食物。红花籽油调节血脂的作用机制为通过提高 CD36、脂肪酸酰基辅酶 A 合成酶(FAS)、肉碱棕榈酰转移酶-1(CPT-1) β 基因的表达来增强肝脏的 β -氧化能力^[27],以及通过激活血清胆固醇的肝脏摄取和胆道排泄过程来缓解外源性高胆固醇血症^[28]等。

亚油酸对心脑血管健康的影响在一定程度上解释了红花籽油对心脑血管健康的作用。多项研究显示,亚油酸对高脂血症患者的血液指标改善具有积极的作用,添加亚油酸的饮食干预均观察到受试者 TC、LDL-C 含量下降,部分人群同时表现出血清甘油三酯(TG)含量下降和 HDL-C 含量上升^[29]。膳食中亚油酸高摄入量和体内亚油酸浓度升高都与 2 型糖尿病风险降低显著相关^[30];经常食用富含亚油酸的食物(坚果、红花籽油)可以预防由缺血引起的恶性心律失常,降低心脏代谢疾病的风险^[31-32];脂肪组织中亚油酸含量与全缺血性脑卒中和大动脉粥样硬化性脑卒中的发生风险呈负相关^[33]。

2.3 保护神经系统

细胞实验结果显示,亚麻酸和亚油酸对特定小

胶质细胞免疫功能的调节可能是观察到的某些饮食模式与阿尔茨海默病之间联系的机制之一,例如与地中海饮食相关的认知能力下降和痴呆风险降低^[34]。Ghareghani 等^[35]研究发现,红花籽油能显著提高胚胎神经干细胞(eNSCs)的活力和增殖能力。因此,红花籽油对神经系统具有保护作用,具有成为阿尔茨海默病患者辅助治疗药物的潜力,但还需要人群实验来深入研究。

2.4 改善骨骼健康

骨质疏松多发于老年人和绝经后妇女,是由于骨密度和骨质量下降,骨微结构破坏,造成骨脆性增加,从而容易发生骨折的全身性骨病。绝经后妇女由于雌激素分泌减少,发生骨质疏松的概率为男性的 4 倍^[36]。Alam 等^[37]选取雌性 SD 大鼠 90 只,随机分为 3 组,每组 30 只,Ⅰ组进行假手术,Ⅱ、Ⅲ组切除卵巢,8 周后,Ⅰ、Ⅱ组每天给予载体溶剂(空白对照),Ⅲ组每天口服红花籽油(1 mL/kg),持续 30 d 后,与Ⅰ、Ⅱ组相比,Ⅲ组大鼠血清胰岛素样生长因子(IGF-I、IGF-II)、胰岛素样生长因子结合蛋白-3(IGBP-3)、骨特异性碱性磷酸酶(BALP)水平显著升高,表明红花籽油对去卵巢大鼠骨质疏松症有改善作用。

2.5 抑制肿瘤作用

动物实验表明红花籽油对肿瘤生长具有抑制作用。Okuno 等^[38]研究发现,饲喂含有 5% 红花籽油基础饲料的肝癌大鼠,其肿瘤的增殖率、肿瘤相关基因表达明显低于饲喂 5% 牛脂基础饲料的大鼠。

2.6 经皮肤吸收改善血液脂肪酸组成

Solanki 等^[39]研究了红花籽油作为按摩油的经皮肤吸收情况,将 120 名婴儿随机平均分为红花籽油组、椰子油组和无油对照组,取 5 mL 指定的油涂抹于皮肤,按摩至吸收,一日 4 次,连续 5 d,随后分析血清样本的 TG 和脂肪酸谱。结果表明,红花籽油组的 TG、亚油酸、花生四烯酸的含量显著上升,其他脂肪酸含量无显著变化,表明红花籽油可以经皮肤吸收并进入血液,改善血液脂肪酸组成。Miller 等^[40]研究发现,皮肤涂抹红花籽油可改善肠管切除术患者血浆的脂肪酸组成,表明外用红花籽油可以作为必需脂肪酸缺乏治疗手段之一,但组织储存的充分性仍然没有答案,如果采用这种治疗方式,需要监测肝功能。以上实验结果提示红花籽油可以经皮肤吸收改善血液脂肪酸组成,但还需要更多的功效研究加以证实。

2.7 改善肥胖、利于减脂

Kim等^[41]对大鼠喂食以红花籽油或牛脂为基础的等能量饮食8周,结果发现,与喂食红花籽油的大鼠相比,长期喂食牛脂的大鼠体脂肪含量更高。Zhang等^[42]将40只3周龄小鼠随机分为对照组(5%猪油+5%红花籽油)、高猪油组(45%猪油+5%红花籽油)和高红花籽油组(45%红花籽油+5%猪油),10周后,10只高猪油组小鼠改为高红花籽油饲料饲喂,结果显示,红花籽油饮食可以改变小鼠脂肪细胞中肥胖相关基因的表达,从而有效改善饮食性肥胖。Hsu等^[43]研究表明,红花籽油可以通过激活肝脏中的过氧化物酶体增殖物激活受体 α (PPAR α)上调脂肪酸分解代谢基因的表达,并通过抑制腹膜后白色脂肪组织(RWAT)中的固醇调节元件结合蛋白-1c(SREBP-1c)下调脂质储存和脂肪生成基因的表达来减少脂肪堆积,减轻肥胖程度。Shimomura等^[44]以红花籽油或牛脂为基础的等能量饲料喂养大鼠4个月,结果发现,食用红花籽油的大鼠体脂堆积明显减少,这种差异是由于红花籽油饮食诱导的产热作用更大和脂肪氧化率更高所致。上述研究结果说明,红花籽油具有改善肥胖的作用,且有利于减脂。

2.8 预防糖尿病

糖尿病是因胰岛素分泌不足和(或)胰岛素利用障碍引起的代谢紊乱性疾病,以高血糖为主要标志。长期高血糖会导致人体多个组织,特别是眼、肾、心脏、血管、神经的慢性损害和功能障碍。不饱和脂肪酸能够增强绝经后女性的胰岛素敏感性,通过特异性肠道菌群及肠道脂肪调节,降低肥胖/超重受试者发展为2型糖尿病的风险^[45-47]。红花籽油中含有较高的不饱和脂肪酸,推测其在降低绝经后妇女2型糖尿病风险方面也具有类似效果。Higa等^[48]给予妊娠糖尿病大鼠含有6%橄榄油或6%红花籽油的饲料,结果发现,补充橄榄油和红花籽油可以极大地降低糖尿病大鼠的胎儿畸形率,并且能够预防母体糖尿病诱导的胚胎和蜕膜中前列环素I₂(PGI₂)和前列环素E₂(PGE₂)浓度的改变以及一氧化氮(NO)的过量产生。Asp等^[49]开展了随机双盲交叉研究,涉及55名绝经后肥胖2型糖尿病女性,其中35人完成了这项研究,受试者每日服用8g共轭亚油酸(CLA)或红花籽油,持续16周,结果发现,与服用CLA相比,服用红花籽油可以显著改善受试者血糖、炎症和血脂水平,具体表现为糖化血红蛋白降低、胰岛素敏感性提升、C-反应蛋白降低、HDL-C水平提升。以上研究表明,红花籽油在女性群体中具有糖尿病防治的应用潜力。

3 红花籽油在其他领域的应用

红花籽油除食用外,还可在添加在饲料中。研究显示,在羔羊饲料中添加红花籽油,可以提高瘦肉组织中亚油酸等不饱和脂肪酸含量,减少饱和脂肪酸含量,降低肝脏中胆固醇含量,且不会对羔羊的生长性能、胴体特性或颜色稳定性产生不利影响^[50-51]。饲料中添加红花籽油对奶牛产奶也有一定影响。Wu等^[52]的研究发现,在奶牛饲料中添加一定量的红花籽油,可提高产奶量,同时牛奶中的硬脂酸、油酸和亚油酸含量也增加。Alizadeh等^[53]的研究也证实了饲料中添加红花籽油能够提高奶牛的产奶量。因此,红花籽油在畜牧业中也具有一定的应用前景和商业价值。

4 总结及展望

红花籽油是日常饮食中很好的亚油酸和维生素E的来源,同时具有抗氧化、调节血脂、改善肥胖、抑制肿瘤等多种健康功效,日常生活中适量摄入红花籽油,对维持身体健康状态具有积极作用。目前国内对于红花籽油健康功效及作用机制的研究有待深入,需要各方共同努力推动。未来的研究方向可从以下几方面深入开展:①对传统油脂加工工艺的创新,提升红花籽油营养素的保留率和稳定性;②探究红花籽油中的营养成分,挖掘多种天然活性物质,探究多种健康功效以扩大应用领域,同时明确营养成分与功效间的剂量效应关系、作用机制,在分子水平上开展深入研究;③紧跟大健康产业发展步伐,布局红花籽油在功能食品、保健食品、药品、化妆品等多领域的应用,同时探究红花籽油与其他种类食用油复配的功效,使红花籽油具有更广泛的发展前景和开发价值,带动红花全产业链更好更快地发展。

参考文献:

- [1] 姜黎. 红花籽油的功效及应用前景分析[J]. 农产品加工:下, 2017, 3(6): 56-57, 60.
- [2] 周远航, 郭建富, 马小龙, 等. 新疆红花生产现状及发展对策研究[J]. 安徽农业科学, 2021, 49(19): 199-201, 217.
- [3] 陈卓. 新疆红花籽油特征挥发性香气分析在品控中的应用[D]. 新疆石河子: 石河子大学, 2018.
- [4] 梁慧珍, 许兰杰, 余永亮, 等. 红花籽油中脂肪酸组成评价与分析[J]. 食品科学, 2021, 42(6): 244-249.
- [5] 杨月欣. 中国食物成分表: 第一册[M]. 6版. 北京: 北京大学医学出版社, 2016: 184-205.
- [6] 中国营养学会. 中国居民膳食营养素参考摄入量: 2013版[M]. 北京: 科学出版社, 2014.
- [7] MATTHAUS B, ÖZCAN M M, AL JUHAIMI F Y. Fatty acid composition and tocopherol profiles of safflower

- (*Carthamus tinctorius* L.) seed oils[J]. *Nat Prod Res*, 2015, 29(2): 193–196.
- [8] OGUNLEIYE A J, MURAOKA A, NIIZEKI S, et al. Effect of fish oil and safflower oil in common Japanese diet on human plasma fatty acid composition[J]. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*, 1990, 36(4): 423–430.
- [9] RAEDERSTORFF D, WYSS A, CALDER P C, et al. Vitamin E function and requirements in relation to PUFA[J]. *Br J Nutr*, 2015, 114(8): 1113–1122.
- [10] HORWITT M K. Status of human requirements for vitamin E[J]. *Am J Clin Nutr*, 1974, 27(10): 1182–1193.
- [11] 李晓. 水酶法提取红花籽油及其抗氧化活性与氧化稳定性研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2017.
- [12] 王冠霖, 肖坤, 许旭. 分光光度法测定食用植物油中的总黄酮含量[J]. *应用技术学报*, 2020, 20(3): 233–236.
- [13] JEONG E H, YANG H, KIM J E, et al. Safflower seed oil and its active compound acacetin inhibit UVB-induced skin photoaging[J]. *J Microbiol Biotechnol*, 2020, 30(10): 1567–1573.
- [14] WANG N, GAO Q, SHI J, et al. Acacetin antagonized lipotoxicity in pancreatic β -cells via ameliorating oxidative stress and endoplasmic reticulum stress[J]. *Mol Biol Rep*, 2022, 49(9): 8727–8740.
- [15] 宋菲. 金合欢素对糖尿病心肌病的保护作用[D]. 福建 厦门: 厦门大学, 2019.
- [16] WU Y, SONG F, LI Y, et al. Acacetin exerts antioxidant potential against atherosclerosis through Nrf2 pathway in apoE^{-/-} mice[J]. *J Cell Mol Med*, 2021, 25(1): 521–534.
- [17] 席梅, 邢建国, 王丽, 等. 金合欢素的降血脂及抗动脉粥样硬化作用及机制初探[J]. *药学学报*, 2019, 54(5): 846–853.
- [18] 辛乐宇, 张泽鹏, 萨拉麦提·艾迪热斯, 等. 不同脱酸工艺对红花籽油储藏品质的影响[J]. *中国油脂*, 2023, 48(4): 27–32.
- [19] MARANGONI F, POLI A. Phytosterols and cardiovascular health[J]. *Pharmacol Res*, 2010, 61(3): 193–199.
- [20] LE GOFF M, LE FERREC E, MAYER C, et al. Microalgal carotenoids and phytosterols regulate biochemical mechanisms involved in human health and disease prevention[J]. *Biochimie*, 2019, 167: 106–118.
- [21] 吕培霖, 李成义, 彭文化, 等. 红花籽油抗氧化活性实验研究[J]. *西北国防医学杂志*, 2017, 38(7): 439–441.
- [22] HALMINSKI M A, MARSH J B, HARRISON E H. Differential effects of fish oil, safflower oil and palm oil on fatty acid oxidation and glycerolipid synthesis in rat liver[J]. *J Nutr*, 1991, 121(10): 1554–1561.
- [23] SATO M, SHIBATA K, NOMURA R, et al. Linoleic acid-rich fats reduce atherosclerosis development beyond its oxidative and inflammatory stress-increasing effect in apolipoprotein E-deficient mice in comparison with saturated fatty acid-rich fats[J]. *Br J Nutr*, 2005, 94(6): 896–901.
- [24] LI Y, HOU M J, MA J, et al. Dietary fatty acids regulate cholesterol induction of liver CYP7 α 1 expression and bile acid production[J]. *Lipids*, 2005, 40(5): 455–462.
- [25] COX C, SUTHERLAND W, MANN J, et al. Effects of dietary coconut oil, butter and safflower oil on plasma lipids, lipoproteins and lathosterol levels[J]. *Eur J Clin Nutr*, 1998, 52(9): 650–654.
- [26] MORGAN S A, SINCLAIR A J, O'DEA K. Effect on serum lipids of addition of safflower oil or olive oil to very-low-fat diets rich in lean beef[J]. *J Am Diet Assoc*, 1993, 93(6): 644–648.
- [27] NIMROUZI M, RUYVARAN M, ZAMANI A, et al. Oil and extract of safflower seed improve fructose induced metabolic syndrome through modulating the homeostasis of trace elements, TNF- α and fatty acids metabolism[J/OL]. *J Ethnopharmacol*, 2020, 254: 112721 [2023-04-29]. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2020.112721>.
- [28] SATO M, YOSHIDA S, NAGAO K, et al. Superiority of dietary safflower oil over olive oil in lowering serum cholesterol and increasing hepatic mRNAs for the LDL receptor and cholesterol 7 α -hydroxylase in exogenously hypercholesterolemic (EXHC) rats[J]. *Biosci Biotechnol Biochem*, 2000, 64(6): 1111–1117.
- [29] FROYEN E, BURNS-WHITMORE B. The effects of linoleic acid consumption on lipid risk markers for cardiovascular disease in healthy individuals: A review of human intervention trials[J/OL]. *Nutrients*, 2020, 12(8): E2329 [2023-04-29]. <https://doi.org/10.3390/nu12082329>.
- [30] MOUSAVI S M, JALILPIRAN Y, KARIMI E, et al. Dietary intake of linoleic acid, its concentrations, and the risk of type 2 diabetes: A systematic review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies[J]. *Diabetes Care*, 2021, 44(9): 2173–2181.
- [31] OLIVERAS T, LÁZARO I, RUEDA F, et al. Circulating linoleic acid at the time of myocardial infarction and risk of primary ventricular fibrillation[J/OL]. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 4377 [2023-04-29]. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08453-0>.
- [32] COLE R M, ANGELOTTI A, SPARAGNA G C, et al. Linoleic acid-rich oil alters circulating cardiolipin species and fatty acid composition in adults: A randomized controlled trial[J/OL]. *Mol Nutr Food Res*, 2022, 66(15): e2101132 [2023-04-29]. <https://doi.org/10.1002/mnfr.202101132>.

- [33] VENØ S K, BORK C S, JAKOBSEN M U, et al. Linoleic acid in adipose tissue and development of ischemic stroke: A Danish case – cohort study[J/OL]. *J Am Heart Assoc*, 2018, 7(13): e009820[2023 – 04 – 29]. <https://doi.org/10.1161/jaha.118.009820>.
- [34] LOWRY J R, MARSHALL N, WENZEL T J, et al. The dietary fatty acids α – linolenic acid (ALA) and linoleic acid (LA) selectively inhibit microglial nitric oxide production [J/OL]. *Mol Cell Neurosci*, 2020, 109: 103569[2023 – 04 – 29]. <https://doi.org/10.1016/j.mcn.2020.103569>.
- [35] GHAREGHANI M, ZIBARA K, AZARI H, et al. Safflower seed oil, containing oleic acid and palmitic acid, enhances the stemness of cultured embryonic neural stem cells through Notch1 and induces neuronal differentiation[J/OL]. *Front Neurosci*, 2017, 11: 446 [2023 – 04 – 29]. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00446>.
- [36] SRIVASTAVA M, DEAL C. Osteoporosis in elderly: Prevention and treatment[J]. *Clin Geriatr Med*, 2002, 18(3): 529 – 555.
- [37] ALAM M R, KIM S M, LEE J I, et al. Effects of Safflower seed oil in osteoporosis induced – ovariectomized rats[J]. *Am J Chin Med*, 2006, 34(4): 601 – 612.
- [38] OKUNO M, TANAKA T, KOMAKI C, et al. Suppressive effect of low amounts of safflower and perilla oils on diethylnitrosamine – induced hepatocarcinogenesis in male F344 rats[J]. *Nutr Cancer*, 1998, 30(3): 186 – 193.
- [39] SOLANKI K, MATNANI M, KALE M, et al. Transcutaneous absorption of topically massaged oil in neonates[J]. *Indian Pediatr*, 2005, 42(10): 998 – 1005.
- [40] MILLER D G, WILLIAMS S K, PALOMBO J D, et al. Cutaneous application of safflower oil in preventing essential fatty acid deficiency in patients on home parenteral nutrition[J]. *Am J Clin Nutr*, 1987, 46(3): 419 – 423.
- [41] KIM Y B, NAKAJIMA R, MATSUO T, et al. Gene expression of insulin signal – transduction pathway intermediates is lower in rats fed a beef tallow diet than in rats fed a safflower oil diet[J]. *Metabolism*, 1996, 45(9): 1080 – 1088.
- [42] ZHANG Z, LI Q, LIU F, et al. Prevention of diet – induced obesity by safflower oil: Insights at the levels of PPAR α , orexin, and ghrelin gene expression of adipocytes in mice [J]. *Acta Biochim Biophys Sin (Shanghai)*, 2010, 42(3): 202 – 208.
- [43] HSU S C, HUANG C J. Reduced fat mass in rats fed a high oleic acid – rich safflower oil diet is associated with changes in expression of hepatic PPAR α and adipose SREBP – 1c – regulated genes [J]. *J Nutr*, 2006, 136(7): 1779 – 1785.
- [44] SHIMOMURA Y, TAMURA T, SUZUKI M. Less body fat accumulation in rats fed a safflower oil diet than in rats fed a beef tallow diet [J]. *J Nutr*, 1990, 120(11): 1291 – 1296.
- [45] MAZZA E, FERRO Y, LAMPRIPOUDI T, et al. Relationship between high sodium and low PUFA intake and carotid atherosclerosis in elderly women [J]. *Exp Gerontol*, 2018, 108: 256 – 261.
- [46] COLE R M, PUCHALA S, KE J Y, et al. Linoleic acid – rich oil supplementation increases total and high – molecular – weight adiponectin and alters plasma oxylipins in postmenopausal women with metabolic syndrome [J/OL]. *Curr Dev Nutr*, 2020, 4(9): 136 [2023 – 04 – 29]. <https://doi.org/10.1093/cdn/nzaa136>.
- [47] ZHUANG P, SHOU Q, WANG W, et al. Essential fatty acids linoleic acid and α – linolenic acid sex – dependently regulate glucose homeostasis in obesity [J/OL]. *Mol Nutr Food Res*, 2018, 62(17): e1800448 [2023 – 04 – 29]. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201800448>.
- [48] HIGA R, WHITE V, MARTINEZ N, et al. Safflower and olive oil dietary treatments rescue aberrant embryonic arachidonic acid and nitric oxide metabolism and prevent diabetic embryopathy in rats [J]. *Mol Hum Reprod*, 2010, 16(4): 286 – 295.
- [49] ASP M L, COLLENE A L, NORRIS L E, et al. Time – dependent effects of safflower oil to improve glycemia, inflammation and blood lipids in obese, post – menopausal women with type 2 diabetes: A randomized, double – masked, crossover study [J]. *Clin Nutr*, 2011, 30(4): 443 – 449.
- [50] BOLES J A, KOTT R W, HATFIELD P G, et al. Supplemental safflower oil affects the fatty acid profile, including conjugated linoleic acid, of lamb [J]. *J Anim Sci*, 2005, 83(9): 2175 – 2181.
- [51] MUCI M R, CAPPELLO A R, VONGHIA G, et al. Change in cholesterol levels and in lipid fatty acid composition in safflower oil fed lambs [J]. *Int J Vitam Nutr Res*, 1992, 62(4): 330 – 333.
- [52] WU Z, HUBER J T, CHAN S C, et al. Effect of source and amount of supplemental fat on lactation and digestion in cows [J]. *J Dairy Sci*, 1994, 77(6): 1644 – 1651.
- [53] ALIZADEH A R, ALIKHANI M, GHORBANI G R, et al. Effects of feeding roasted safflower seeds (variety IL – 111) and fish oil on dry matter intake, performance and milk fatty acid profiles in dairy cattle [J]. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)*, 2012, 96(3): 466 – 473.